

# 廃棄物混合土の力学特性の評価法に関する基礎的研究

著者	李 基 豪
号	2567
発行年	2000
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/7840">http://hdl.handle.net/10097/7840</a>

氏 名	イ ギ ホ
授 与 学 位	李 基 豪
学 位 授 与 年 月 日	博士 (工学)
学位授与の根拠法規	平成12年9月13日
研究科, 専攻の名称	学位法規第4条第1項
学 位 論 文 題 目	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻
指 導 教 官	廃棄物混合土の力学特性の評価法に関する基礎的研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 岸野 佑次
	主査 東北大学教授 岸野 佑次 東北大学教授 三浦 尚
	東北大学教授 岩熊 哲夫 東北大学教授 風間 基樹

## 研究内容要旨

本研究は浚渫粘土に廃棄物であるカキ殻を混合する埋立現場を想定し、廃棄物混合土の力学特性の評価法に関する基礎的研究である。本研究で用いられている浚渫粘土は河口部などに堆積する高含水比高塑性粘土(ヘドロ)として港湾区域の船路を埋没させるだけでなく、水域の汚染源として大きな社会問題および環境問題となっている。また、浚渫された粘土は圧密するまでに長い期間を要するため、埋立地の埋立材料として使用するためには、なんらかの処理が必要となる。この圧密時間を促進させる改良材として廃棄物であるカキ殻の活用に着目した。

このような廃棄物を含む混合土、すなわち、二つ以上の材料から構成される混合土の力学挙動は構成材料そのものの力学特性、混合率、骨格構造などから決定される。したがって、混合土の力学特性を把握するためには混合土の力学特性を支配するメカニズムを明らかにすることが必要である。

本研究では埋立現場を想定していることから、力学特性のうち混合土の透水性と強度・変形特性に焦点を絞り、そのメカニズムを解明した。廃棄物混合土の力学特性を評価する実験的方法としては、圧密試験によってカキ殻混合土の圧密・透水特性を調べ、三軸圧縮試験によって強度・変形特性を究明した。また、数値解析手法としては、微視構造の影響が反映できる均質化法を用いてカキ殻の透水係数および弾性係数を求める手法を提案し、その力学的意味について考察した。本論文は全5章と付録から構成される。以下に各章ごとの要旨をまとめる。

### 第1章 序論

第1章では、環境汚染の問題になっている浚渫粘土(ヘドロ)に関する性質と特性を紹介し、浚渫粘土の処理方法の流れに関して整理する。また、廃棄物としてカキ殻の処理状況を述べた後、本研究の背景と目的について整理した。

## 第2章 既往の研究

第2章では、混合土に関する研究を実験的研究、解析的研究、廃棄物活用の三つに分けて考察した。粘土や砂など性質が異なる土で構成される混合土の力学特性は、一般の土と比較して、一次的性質から予測することが困難であり、その特性の把握・評価法の開発が求められている。現在のところ、このような混合土の力学挙動に関する研究は数多く行われてきたが、混合土の設計定数の算出方法や力学挙動の予測手法を確立するまでには至っていない。その理由は、従来の研究が混合土の全体スケールの力学特性を把握することだけに力を入れてきたためである。したがって、二種以上の土から構成されている混合土の力学特性を予測するためには、巨視的な混合土全体の力学特性を混合土の構成要素の微視的な構造から解明するべきである。

また、廃棄物の再活用に関して、プラスチック片、廃タイヤ片、建設発生土などを活用する研究が進められているが、一般的な廃材にも応用できる評価法の開発まで達したとはいえない。これらの種々の廃棄物の特性に応じた利用方法を模索することも重要であるが、逆に、種々の材料の特性によらず、混合土の性質を把握できる方法、すなわち、広範囲に適用可能な一般化された方法の開発の研究も必要である。これからの研究においては拡張性および応用性がある評価法を研究する必要がある。

## 第3章 混合土の透水特性

第3章では、まず、大型圧密槽を用いた圧密実験を行い、カキ殻を含む混合土の圧密特性および粘土のみの透水特性を把握した。次に、圧密試験の結果をもとに、カキ殻を透水性材料とみなしたときのみかけの透水係数を均質化法を用いて算出した。カキ殻そのものは不透水性材料であるが、計算から求めたカキ殻の見かけの透水係数はカキ殻が混合土の透水性に与える影響を示すものである。すなわち、混合土の透水特性を実験的に検討するだけでなく、混合土の微視的な構造に着目し、微視的および巨視的考察を同時に行うことができる均質化法を用いてカキ殻の見かけの透水特性を定量的に評価した。ここで提案する方法は、カキ殻混合土の透水特性を予測できるだけでなく、他の異なる透水性を持つ混合材についても適用可能な方法である。また、理想化した解析モデルを用いた解析を行い、カキ殻の混合率を増加させたときに得られる混合土の透水係数の変化とカキ殻粒子の形態によって発生する透水係数の異方性の変化について考察した。第3章で得られた主な結果を次に示す。

- 1) 圧密試験から、カキ殻混合率を増加すると基質部分（粘土）の体積ひずみ量が小さくなり、最終圧密沈下量を抑制できることを実験的に明らかにした。
- 2) 破碎されたカキ殻を浚渫粘土と混ぜて作成した混合土の透水係数は、粘土のみの透水係数より、大きくなることを実験的に確認できた。このことは、カキ殻を混入すると浚渫粘土の圧密沈下特性を改善できることがわかる。

3) 圧密試験から求められる基質部分（粘土）の最終間隙比から、粘土が受け持たれる応力分担率を算出する手法を提案した。

4) 混合土の微視的構造を反映できる数学的手法である均質化法を用いて混合土の透水特性を評価する手法を提案した。そして、提案した手法からカキ殻の見かけの透水係数を求め、その力学的意味について考察した。また、混合土の構造異方性に起因する透水異方性を検討することができた。

#### 第4章 混合土の強度・変形特性

第4章では、混合材として廃棄物を活用しようとする研究の一つとして、三軸圧縮試験および数値解析方法による混合土の強度・変形特性に関する検討を行い、カキ殻を埋立材料として活用するための強度・変形特性に関する基礎資料を提供した。特に、カキ殻混合土の強度・変形特性が純粋な粘土のそれとどのように異なるかを中心に検討した。また、混合土の強度・変形特性を実験的に検討するだけでなく、混合土の微視的な構造に着目し、供試体スケールの非均質性を反映できる均質化法を用いてカキ殻が粘土の強度・変形特性に与える影響を定性的に評価した。第4章で得られた主な結果を次に示す。

1) 粘土にカキ殻を混合させることで現れる混合土の強度・変形特性は、純粋な粘土に比較して、カキ殻混合率が増加するとともに大きくなることがわかった。また、カキ殻混合による強度改善効果は予圧密応力が小さい方で大きく現れることを明らかにした。この結果を工学的に判断すれば、浅い地盤ほど、混合によるせん断強度の増加効果を期待できることも意味している。

2) 三軸試験と均質化法に基づいた数値解析法を組み合わせた手法から、カキ殻の見かけの弾性係数を評価する手法を提案した。この手法から、カキ殻の見かけの割線弾性係数とカキ殻混合率の定量的関係を明らかにした。また、圧密応力とカキ殻の見かけの弾性係数の関係を定量的に評価することができた。

3) 三軸圧縮試験と均質化法に基づいた数値解析法を組み合わせた手法から、混合土の強度・変形に関する異方的特性を調べた。その結果から異方的特性はカキ殻混合率、予圧密応力、カキ殻の形状などに影響を受けることがわかった。

#### 第5章 結論と今後の課題

第5章では、本研究で得られた研究成果をまとめた。また、これから研究すべき事項について整理した。

#### 付録

付録では、本研究で用いた浸透流および混合体に関する均質化法の理論的考察を行った。

## 審査結果の要旨

河口・港湾水域における地盤環境の悪化を防止する上で、海底表面に堆積する軟弱粘土層の処理法を見出すことは極めて重要である。本論文は、カキ殻などの廃棄物の有効利用による軟弱粘土層の処理法について、地盤工学的な立場から検討を加えたものであり、全文5章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、混合土の力学的とり扱いに関する従来の方法について検討を加えるとともに、具体的な廃棄物の活用方法に関して考察を行っている。ここではとくに、地盤改良に用いられる廃棄物利用の現状の評価を行い、混合土のとり扱いについては、混合土を構成する個々の要素を複合した力学特性を微視的な観点から明らかにする必要性のあることを指摘している。

第3章では、粘土カキ殻混合土の圧密・透水特性の実験結果、ならびに均質化法による混合土の透水係数の評価方法とそれに基づく解析結果を示し、カキ殻粒子の配列形態と透水異方性の関係など、混合土の透水特性に関する考察を行っている。ここではとくに、粘土要素とカキ殻要素の応力分担率という新しい概念を導入した解析に基づき、粘土に本来不透水性であるカキ殻を混入させると、透水性が向上することや、混合土の微視構造が巨視的異方特性に影響を及ぼすことを明らかにしており、混合土の透水特性に関する新しい有用な知見が得られたと認められる。

第4章では、カキ殻混合によって現れる強度・変形特性を三軸圧縮試験により調べるとともに、均質化解析法によりカキ殻の変形係数を評価する手法を示し、これらに基づいてカキ殻の混合率と変形係数との関係を論じている。とくに、予圧密応力が小さい場合にカキ殻混合による強度改善効果が大きく現れることを示し、これによって、現実の地盤改良を有効に実施できる条件を明らかにしたこと、および、カキ殻の混入率や配列構造と強度・変形特性について、実用に供することの可能な定量的な関係を明示したことは、実際の地盤改良を行う上で参考となる有用な材料を与えたことになり、その成果は高く評価される。

第5章は結論である。

以上、要するに本論文は、混合土の力学特性に関して、実験ならびに理論解析により詳細な検討を行い、混合土を用いた地盤環境の改善に資する有用な知見を見出したものであり、地盤工学ならびに土木工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。